不同锌源对新生犊牛生长性能、血清激素及免疫指标的影响

郝丽媛[1] 马峰涛[1] 魏婧雅[1] 孙 鹏[1*] 张开展[2]

（1.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193；2.北京中地种畜有限公司，北京 100028）

摘 要：本试验旨在研究不同锌源对新生犊牛生长性能、血清激素及免疫指标的影响。试验选取 36 头新生荷斯坦母犊牛，随机分成 3 组，每组 12 头。对照组无添加，试验组分别每日每头添加 457 mg 蛋氨酸锌和 104 mg 氧化锌（相当于 80 mg 锌），蛋氨酸锌和氧化锌混合到牛奶中进行饲喂。试验进行至犊牛生后 14 d 结束。犊牛 4 日龄时添加开食料，每天记录犊牛采食量和腹泻情况，试验开始和结束时测量犊牛体高、体斜长、胸围和体重；试验结束时采集犊牛血液样品，测定血清中免疫球蛋白和激素含量。结果表明：1）与对照组相比，添加蛋氨酸锌显著提高了犊牛平均日增重（P<0.05），显著降低了犊牛腹泻率（P<0.05）。不同锌源对犊牛平均日采食量、体高总增长、体斜长总增长和胸围总增长均无显著影响（P>0.05）。2）与对照组相比，添加氧化锌和蛋氨酸锌均可显著降低犊牛血清中胰岛素的含量（P<0.05）。3）与对照组相比，添加氧化锌显著提高了犊牛血清中免疫球蛋白 G 和免疫球蛋白 M 含量（P<0.05）。各组间犊牛血清中免疫球蛋白 A 含量差异不显著（P>0.05）。综上所述，给新生犊牛补充蛋氨酸锌可以有效促进犊牛生长，降低腹泻率；而补充氧化锌则有助于提高犊牛机体免疫功能。

关键词：新生犊牛；蛋氨酸锌；氧化锌；生长性能；腹泻；血清激素；免疫功能

中图分类号：S823 文献标识码： 文章编号：

犊牛是奶牛养殖企业的后备军，其生长和健康状况关系到成年后奶牛生产性能的发挥。因此，提高犊牛生长性能、减少疾病的发生对于提高奶牛养殖业经济效益具有重要意义。锌是动物机体必需的微量元素之一，广泛分布于细胞质和大部分细胞器中[1]。锌的主要作用是参与维持上皮细胞的正常形态以及生物膜的正常结构和功能，防止生物膜遭受氧化损害，对于膜中正常受体机能具有保护作用[2]。研究表明，锌可以改善动物的生长性能，提高免疫力

收稿日期：2018-01-18

基金项目：国家重点研发计划（2016YFD0500507）；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS07）；国家高层次人才特殊支持计划

作者简介：郝丽媛（1992—），女，山西晋中人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: 18201135181@163.com

*通信作者：孙 鹏，副研究员，博士生导师，E-mail: sunpeng02@caas.cn

[3]，有效缓解腹泻[4]。锌作为全球范围内治疗和预防婴幼儿腹泻的最有效制剂，已挽救数百万计的生命[5]，世界卫生组织（WHO）已将其用于70多个国家的腹泻治疗[6]。以往研究表明，给断奶仔猪饲粮中添加高剂量（2 250 mg/kg）氧化锌可促进仔猪生长，提高仔猪免疫力，有效缓解断奶后腹泻[5]。然而，考虑到动物排泄以及环境污染等问题，我国目前已经明令禁止使用高锌，2017年新修订的《饲料添加剂安全使用规范》中规定犊牛代乳料中锌添加量不超过180 mg/kg。现有养殖标准中，对于犊牛饲粮中锌的适宜添加量尚不明确，NRC（2001）[7]中提出了犊牛饲喂半合成饲粮时锌的添加量低至8 mg/kg未表现锌缺乏症状，而对于饲喂天然饲粮的犊牛补充8～30 mg/kg锌仍然表现锌缺乏症状。Glover等[8]研究发现，给1～8日龄发生腹泻的新生犊牛饲喂80 mg氧化锌或蛋氨酸锌可以不同程度地缓解腹泻，说明80 mg锌对于新生犊牛腹泻具有一定的治疗效果，而饲粮添加80 mg锌对新生犊牛腹泻发生是否有预防作用尚未见报道。因此，本试验旨在研究蛋氨酸锌和氧化锌对新生荷斯坦母犊牛生长性能、腹泻情况、血清激素和免疫指标的影响，为无机锌和有机锌在犊牛早期饲养中的科学应用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

氧化锌，纯度为96.64%，购自湖南省衡阳市中宝饲料科技有限公司；蛋氨酸锌，纯度为98.20%，购自上海华亭化工有限公司。

1.2　试验动物与试验饲粮

试验在北京市顺义区中地畜牧科技有限公司进行。选取 36 头出生健康、体重相近的新生荷斯坦母犊牛，出生后 2 h 内灌服初乳 4 L。第 2～3 天，用奶壶饲喂常乳，每天 2 次（08:00、14:00），每次 2 L。第 4~14 天，用奶桶饲喂常乳，每天 2 次（07:00、14:00），每次 4 L，第 4 天开始添加开食料，自由采食，每天记录采食量。犊牛采食的牛奶为北京市顺义区中地畜牧科技有限公司自产牛奶；开食料为北京首农畜牧科技发展有限公司饲料分公司生产的犊牛精料补充料 641p，原料组成为玉米、麸皮、膨化大豆、豆粕、棉籽粕、磷酸氢钙、维生素、矿物元素、石粉、氯化钠、小麦次粉等，形态为颗粒状，经检测其中锌含量为 172 mg/kg。牛奶及开食料的营养水平见表 1。

表 1　牛奶及开食料的营养水平（风干基础）

Table 1　Nutrient levels of milk and starter (air-dry basis)　　　%

项目 Items	牛奶 Milk	项目 Items	开食料 Starter

浓度 Density/(g/L)	1 032	干物质 DM	89.50
乳蛋白 Milk protein	3.87	粗蛋白质 CP	20.01
乳脂肪 Milk fat	4.32	粗脂肪 EE	2.75
总固形物 Total solid	13.52	粗灰分 Ash	6.73
干物质 DM	12.30	中性洗涤纤维 NDF	10.04
乳糖 Lactose	4.88	酸性洗涤纤维 ADF	18.01

营养水平均为实测值。Nutrient levels are analyzed values.

1.3 试验设计与饲养管理

将试验犊牛按照体重相近原则随机分成 3 组，每组 12 头。自出生后 1 日龄开始，对照组无添加，试验组分别每日每头添加 457 mg 蛋氨酸锌和 104 mg 氧化锌（相当于 80 mg 锌），蛋氨酸锌和氧化锌混合到牛奶中进行饲喂。试验进行至犊牛出生后 14 d 结束。试验犊牛采用犊牛岛单栏饲养，每头犊牛占地约 3 m^2，保持圈舍卫生干净。饲喂过程中认真执行“四定””原则，即“定时、定量、定温、定人”。试验犊牛的防疫按照牛场规定的标准执行。

1.4 样品采集与指标测定

1.4.1 常乳及开食料

每周采集犊牛常乳和开食料样品，-20 ℃保存。采用乳成分分析仪（MilkoScan™ FT6000)测定牛奶干物质、乳蛋白、乳脂肪、乳糖、总固形物含量；采用电感耦合等离子发射光谱仪（ICP-OES）测定开食料中的锌含量（GB5009.268—2016），同时测定开食料中干物质（AOAC，2005；方法 930.15）、粗蛋白质（AOAC，2000，方法 976.05）、粗脂肪（AOAC，2003；方法 4.5.05）、粗灰分（GB/T 6438-1992）含量，开食料中中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的含量参照 Van Soest 等[9]描述的方法进行测定。

1.4.2 生长性能和腹泻率

称量犊牛初生体重和犊牛 15 日龄晨饲前空腹体重，并测量体尺（体高、体斜长和胸围）。其中，犊牛体重用精确度为 0.5 kg、量程为 200 kg 的电子秤称量，体高和体斜长用卷尺测量，胸围用皮卷尺测量。计算平均日增重（ADG），体高总增长、体斜长总增长和胸围总增长。记录犊牛每天常乳和开食料摄入量，计算犊牛平均日采食量（ADFI）。

每天根据 Teixeira 等[10]的方法进行粪便评分，犊牛粪便流动性和黏滞性均超过 3 分的记为腹泻。每头犊牛每腹泻 1 d 记为 1 个发病日数，试验过程中，记录犊牛腹泻天数和腹泻头数，计算腹泻率：

腹泻率（%）=[总腹泻头数×腹泻天数/（试验头数×试验天数）]×100。

1.4.3　血清激素及免疫指标

犊牛 15 日龄晨饲前进行颈静脉采血，每头犊牛采集血液样品 10 mL，室温静置 30 min，3 000×*g*、4 ℃离心 15 min 后制备血清，保存于-20 ℃冰箱备用。血清中免疫球蛋白 A（IgA）、免疫球蛋白 G（IgG）和免疫球蛋白 M（IgM）含量采用酶联免疫吸附测定（ELISA）法，试剂盒购于美国 Bethyl 公司，并严格按照操作说明进行测定。血清中生长抑素（SS）、类胰岛素生长因子-1（IGF-1）、饥饿素（GHRL）、胰岛素（INS）、胃泌素（GAS）和胆囊收缩素（CCK）含量采用放射免疫法测定，试剂盒购于南京建成生物工程研究所。

1.5　数据统计分析

采用 Excel 2007 软件对试验数据进行初步处理，采用 SAS 9.4 软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），采用 Duncan 氏法进行多重比较。$P<0.05$ 表示差异显著，$0.05 \leq P<0.10$ 表示有差异显著趋势。

2　结　果

2.1　不同锌源对新生犊牛生长性能及腹泻率的影响

由表 2 可知，与对照组相比，蛋氨酸锌组新生犊牛总增重和 ADG 显著增加（$P<0.05$）；在整个试验期间，氧化锌组的新生犊牛总增重和 ADG 介于对照组和蛋氨酸锌组之间，但与对照组和蛋氨酸锌组相比差异不显著（$P>0.05$）。不同锌源对新生犊牛 ADFI 及体尺指标影响不显著（$P>0.05$）。同时，不同锌源对新生犊牛腹泻发生有一定缓解作用，蛋氨酸锌组新生犊牛腹泻率显著低于对照组（$P<0.05$），而氧化锌组新生犊牛腹泻率与其他 2 组相比差异均不显著（$P>0.05$）。

表 2　不同锌源对新生犊牛生长性能和腹泻率的影响

Table 2　Effects of different zinc sources on growth performance and diarrhea rate of newborn calves

项目 Items	组别 Groups			标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
	对照 Control	氧化锌 ZnO	蛋氨酸锌 Met-Zn		
初重 Initial weight/kg	39.53	39.84	39.98	1.20	0.96
末重 Final weight/kg	46.80	48.02	49.03	1.21	0.43
总增重 Total weight gain/kg	7.27[b]	8.18[ab]	9.05[a]	0.45	0.03

平均日增重 ADG/(g/d)	519.16^{b}	584.42^{ab}	646.75^{a}	32.30	0.03
开食料平均日采食量 Starter ADFI/(g/d DM)	24.11	24.12	21.18	7.98	0.96
平均日采食量 ADFI/(g/d DM)	937.81	937.82	934.88	7.98	0.96
体高总增长 Total body height gain/cm	3.45	3.92	5.33	0.82	0.26
体斜长总增长 Total body slant gain/cm	2.55	3.15	5.17	1.05	0.20
胸围总增长 Total bust gain/cm	10.72	10.00	8.33	1.46	0.50
腹泻率 Diarrhea rate/%	26.49^{b}	22.92^{ab}	18.45^{a}		<0.05

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），相同或无字母表示差异不显著（$P>0.05$）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 不同锌源对新生犊牛血清激素指标的影响

由表 3 可知，与对照组相比，氧化锌组和蛋氨酸锌组新生犊牛血清中 INS 的含量显著降低（$P<0.05$）。不同锌源对新生犊牛血清中 SS、GHRL、GAS 和 CCK 含量均没有显著影响（$P>0.05$）。与氧化锌组相比，蛋氨酸锌组新生犊牛血清中 IGF-1 含量有提高的趋势（$0.05\leq P<0.10$）。

表 3 不同锌源对新生犊牛血清激素指标的影响

Table 3 Effects of different zinc sources on serum hormone indices of newborn calves

项目 Items	组别 Groups			标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
	对照 Control	蛋氨酸锌 Met-Zn	氧化锌 Met-Zn		
生长抑素 SS/（ng/L）	131.21	148.87	93.21	20.44	0.16
类胰岛素生长因子-1 IGF-1/（ng/L）	109.97	142.63	106.39	12.09	0.05
饥饿素 GHRL/（ng/L）	90.29	147.93	74.65	48.59	0.54
胰岛素 INS/（IU/L）	61.11^{a}	50.32^{b}	36.77^{c}	2.22	<0.01

胃泌素 GAS/（ng/L）	312.25	329.47	359.19	46.29	0.77
胆囊收缩素 CCK/（ng/L）	136.22	109.53	108.29	11.16	0.15

2.3 不同锌源对新生犊牛血清免疫指标的影响

由表 4 可知，不同锌源对新生犊牛血清中 IgA 含量无显著影响（P>0.05）。与对照组相比，氧化锌组新生犊牛血清中 IgG 和 IgM 含量显著提高（P<0.05），蛋氨酸锌组新生犊牛血清中 IgG 和 IgM 含量无显著差异（P>0.05）。

表 4 不同锌源对新生犊牛血清免疫指标的影响

Table 4 Effects of different zinc sources on serum immune indices of newborn calves

项目 Items	组别 Groups			标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
	对照 Control	氧化锌 ZnO	蛋氨酸锌 Met-Zn		
免疫球蛋白 A IgA/(μg/mL)	33.20	35.59	28.80	6.15	0.73
免疫球蛋白 G IgG/（mg/mL）	0.94^{b}	1.28^{a}	1.01^{ab}	0.10	0.04
免疫球蛋白 M IgM/（mg/mL）	2.17^{b}	4.79^{a}	2.00^{b}	0.43	0.01

3 讨 论

3.1 不同锌源对新生犊牛生长性能的影响

提高犊牛生长性能是犊牛饲养管理过程中的首要任务。犊牛采食量、日增重和体尺增长是评价生长性能的重要指标。Glover 等[9]通过给新生犊牛每日添加 80 mg 蛋氨酸锌发现，腹泻期间每日添加 80 mg 蛋氨酸锌组的犊牛 ADG 较添加安慰剂组高 40 g。周怿等[11]研究表明，犊牛饲粮中添加 60 mg/kg 杆菌肽锌可以使 ADG 提高 30.81%。蔡秋等[12]研究表明，犊牛饲粮中添加 200 mg 锌可以使 ADG 提高 12.50%。为了减少环境污染，同时考虑到缓解犊牛腹泻，参考已有研究，我们选择每日每头牛添加 80 mg 锌。本试验选用的初生犊牛初始体重没有显著差异。本研究表明，饲粮中添加 80 mg 氧化锌和蛋氨酸锌对犊牛的 ADFI 没有显著影响，但是添加 80 mg 蛋氨酸锌可以显著提高犊牛 ADG。前人研究结果表明，蛋氨酸锌能够促进仔猪[13]、蛋鸡[14]和肉兔[15]等动物的生长，与本研究结论一致。蛋氨酸锌具有良好的促生长作用可能由于其是接近于动物体内天然形态的微量元素补充剂，具有良好的化学稳定性

和生化稳定性，生物利用率高，抗干扰性强，毒性小[16]。各组犊牛体尺指标没有显著差异，但值得注意的是，添加蛋氨酸锌和氧化锌可以在一定程度上提高犊牛体高总增长和体斜长总增长，但犊牛胸围总增长则略有下降，说明其对犊牛长高有一定促进作用。

3.2　不同锌源对新生犊牛腹泻率的影响

腹泻是新生犊牛的多发疾病，其不仅代表着犊牛当前的健康状况，也影响着日后成年牛的生产和繁殖性能，同时对牧场的经济效益产生重要影响。因此，如何预防犊牛腹泻成为犊牛生产管理中的一项重要议题。Glover 等[8]通过给腹泻新生犊牛每日添加 80 mg 氧化锌发现，氧化锌对犊牛腹泻的治愈率是普通安慰剂的 1.4 倍。从本研究可以看出，犊牛饲粮中添加蛋氨酸锌显著降低了犊牛腹泻率，氧化锌也有降低腹泻率的趋势。师周戈等[17]研究发现，在犊牛 3 日龄时给犊牛注射 60 mg 锌犊牛腹泻率显著降低。雷东风[18]在研究不同形式和水平的锌对仔猪影响时发现，蛋氨酸锌和氧化锌对仔猪具有促生长和缓解腹泻作用。本研究表明，氧化锌和蛋氨酸锌对瘤胃尚未发育完全的反刍动物也有相似效果。陈娜娜等[19]研究表明，蛋氨酸锌具有改善蛋鸡肠道形态、优化盲肠微生物区系的功能。Hu 等[20]研究发现，氧化锌可影响仔猪肠道屏障，促进肠道功能的正常发挥。据此，我们推断锌可能是通过改善犊牛肠道微生物区系和促进肠黏膜发育来缓解腹泻。本试验中，氧化锌可以预防犊牛腹泻，但与对照组相比无显著差异，原因可能是其添加剂量偏低所致。

3.3　饲粮不同锌源对新生犊牛血清激素指标的影响

激素是调节机体生长发育和代谢的重要物质，本试验研究的激素均与犊牛生长发育相关。INS 具有调节蛋白质、糖、脂肪三大营养物质的代谢和贮存的功能。当血液中游离的锌足够多时，胰岛 β 细胞内锌充足，INS 分泌会减少[21]。同时，锌会增强 INS 降解酶的活性，使血清 INS 含量降低[21]。刘信艳等[22]研究表明，一定剂量的锌可以降低大鼠血清中 INS 含量。本研究中，饲粮添加蛋氨酸锌或氧化锌显著降低了犊牛血清 INS 含量，可能是由于添加锌源引起。胰岛素样生长因子（IGFs）主要由肝脏产生，是存在于血浆内的一类既有促生长作用，又有 INS 样作用的多肽[23]。O'Neill 等[24]研究表明，IGF-1 具有促进机体及组织水平的分解代谢，刺激细胞分裂、骨骼生长及蛋白质、脂肪和糖原合成，促进细胞对氨基酸和葡萄糖的摄取，进而促进动物生长发育的作用。本研究发现，新生犊牛饲粮添加蛋氨酸锌较氧化锌相比具有增加血清 IGF-1 含量的趋势，而蛋氨酸锌组犊牛的 ADG 高于对照组，这可能是由于蛋氨酸锌促进了 IGF-1 的合成和分泌，从而提高了犊牛的生长性能。Li 等[25]研究表明，氧化锌增加了仔猪小肠 IGF-1 的含量，但对血清中 IGF-1 含量没有显著影响，这与本研究的结果一致。饲粮中添加氧化锌或者蛋氨酸锌对犊牛血清中其他激素含量没有显著的影

响。

3.4　不同锌源对新生犊牛血清免疫指标影响

免疫球蛋白是反映机体免疫功能的重要指标，其主要包括 IgG、IgM、IgA 这 3 种蛋白。IgG 在血清中含量最多，是体液免疫的主要抗体。而 IgM 是免疫和感染中最先出现的抗体，IgA 是外分泌体液中的主要抗体，都是机体免疫中不可缺少的[26]。血清中免疫球蛋白含量多少与犊牛的免疫力密切相关。吕广宙等[27]研究表明，饲粮添加低剂量锌（硫酸锌）不仅可以提高犊牛 ADG，还可以提高犊牛免疫机能。Nagalakshmi 等[28]研究也表明，犊牛饲粮添加低剂量有机锌可以提高犊牛生长性能和免疫应答。本研究表明，饲粮中添加氧化锌显著提高了血清中 IgG 和 IgM 含量，饲粮中添加蛋氨酸锌有提高血清 IgG 和 IgM 含量的趋势，但氧化锌和蛋氨酸锌均未影响犊牛血清中 IgA 含量。另有研究表明，饲粮中添加锌可以提高仔猪、蛋鸡免疫功能[13,19-30]，与本研究结果一致，我们推测锌可能通过调节动物体内蛋白质和能量的代谢，促进免疫球蛋白的合成。动物机体免疫力的提高有利于抵抗应激，这可能是锌源饲粮添加组犊牛腹泻率降低的原因之一。

4　结　论

① 给新生犊牛补充蛋氨酸锌可以有效促进犊牛生长，降低腹泻率。

② 给新生犊牛补充氧化锌和蛋氨酸锌均可显著降低犊牛血清中 INS 含量。

③ 给新生犊牛补充氧化锌可以提高犊牛机体免疫功能。

参考文献：

[1] BONAVENTURA P,BENEDETTI G,ALBAR DE F,et al.Zinc and its role in immunity and inflammation[J].Autoimmunity Reviews,2015,14(4):277–285.

[2] SUTTLE N F.Mineral nutrition of livestock[M].4th ed.Wallingford,UK:CABI Publishing,2010:426–458.

[3] SHEN J H,CHEN Y,WANG Z S,et al.Coated zinc oxide improves intestinal immunity function and regulates microbiota composition in weaned piglets[J].British Journal of Nutrition,2014,111(12):2123–2134.

[4] MILLER H M,TOPLIS P,SLADE R D.Can outdoor rearing and increased weaning age compensate for the removal of in-feed antibiotic growth promoters and zinc oxide[J].Livestock Science,2009,125(2/3):121–131.

[5] LIBERATO S C,SINGH G,MULHOLLAND K.Zinc supplementation in young children:a review of the literature focusing on diarrhoea prevention and treatment[J].Clinical

Nutrition,2015,34(2):181–188.

[6] PRASAD A S.Zinc:an antioxidant and anti-inflammatory agent:role of zinc in degenerative disorders of aging[J].Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,2014,28(4):364–371.

[7] NRC.Nutrient requirements of dairy cattle[M].7th rev ed.Washington D.C.:National Academies Press,2001.

[8] GLOVER A D,PUSCHNER B,ROSSOW H A,et al.A double-blind block randomized clinical trial on the effect of zinc as a treatment for diarrhea in neonatal Holstein calves under natural challenge conditions[J].Preventive Veterinary Medicine,2013,112(3/4):338–347.

[9] VAN SOEST P J,ROBERTSON J,LEWIS B.Symposium:carbohydrate methodology,metabolism,and nutritional implications in dairy cattle:methods for dietary fiber,neutral detergent fiber,and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition [J].Journal of Dairy Science,1991,74(10):3583–3597.

[10] TEIXEIRA A G V,STEPHENS L,DIVERS T J,et al.Effect of crofelemer extract on severity and consistency of experimentally induced enterotoxigenic *Escherichia coli* diarrhea in newborn Holstein calves[J].Journal of Dairy Science,2015,98(11):8035–8043.

[11] 周怿,刁其玉,屠焰,等.酵母β-葡聚糖和杆菌肽锌对早期断奶犊牛生长性能和胃肠道发育的影响[J].动物营养学报,2011,23(5):813–820.

[12] 蔡秋,张明忠,刘康书,等.饲粮添加铜、铁和锌对牛组织和血液铅和镉含量的影响[J].动物营养学报,2012,24(3):571–576.

[13] 彭秋媛,黄大鹏.维生素 A 及蛋氨酸锌水平对断奶仔猪生长性能及部分血清抗氧化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2016,43(6):1500–1505.

[14] 孙玲.微生态制剂和蛋氨酸锌及其互作效应对蛋鸡生产性能、蛋品质和抗氧化性能的影响[D].硕士学位论文.长春:沈阳农业大学,2017.

[15] 白彦.不同锌源及水平对商品肉兔生长性能及组织锌沉积的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2010.

[16] 刘翠艳,淡秀荣,左龙.蛋氨酸锌在反刍动物生产中的应用[J].中国牛业科学,2014,40(5):41–43.

[17] 师周戈,白元生.注射微量元素对犊牛健康的影响[J].当代畜牧,2014(30):45–46.

[18] 雷东风.不同形式和水平的锌、铜对仔猪的影响[D].硕士学位论文.郑州:河南农业大

学,2010.

[19] 陈娜娜,马莲香,侯川川,等.蛋氨酸锌对蛋鸡生产性能、肠道形态、组织学结构及盲肠微生物菌群的影响[J].中国畜牧杂志,2017,53(9):102–108.

[20] HU C H,SONG J,YOU Z T,et al.Zinc Oxide–Montmorillonite hybrid influences diarrhea,intestinal mucosal integrity and digestive enzyme activity in weaned pigs[J].Biological Trace Element Research,2012,149(2):190–196.

[21] 王竹.锌和胰岛素、糖尿病的关系[J].国外医学(卫生学分册),1999(6):343–347.

[22] 刘信艳,吴蕴棠,孙忠,等.锌对高糖高脂饲料喂养大鼠胰岛素敏感性影响[J].中国公共卫生,2013,29(5):691–693.

[23] 范炜,殷红,李春风,等.胰岛素样生长因子 1 调节生长发育的研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2013(1):19–22.

[24] O'NEILL B T,LAURITZEN H P M M,HIRSHMAN M F,et al.Differential role of insulin/IGF-1 receptor signaling on muscle growth and glucose homeostasis[J].Cell Reports,2015,11(8):1220–1235.

[25] LI X L,YIN J D,LI D F,et al.Dietary supplementation with zinc oxide increases IGF-1 and IGF-1 receptor gene expression in the small intestine of weanling piglets[J].The Journal of Nutrition,2006,136(7):1786–1791.

[26] FRANZ J,MILON A,SALMON H.Synthesis of immunoglobulins IgG,IgM and IgA during the ontogeny of foetal pigs[J].Acta Veterinaria Brno,1982,51(1/2/3/4):23–30.

[27] 吕广宙,陆治年,丁晓明.低锌日粮补锌对断奶前后犊牛免疫机能的影响[J].畜牧兽医学报,1995,26(3):207–213.

[28] NAGALAKSHMI D,SRIDHAR K,SATYANARAYANA M,et al.Effect of replacing inorganic zinc with a lower level of organic zinc (zinc propionate) on performance,biochemical constituents,antioxidant,immune and mineral status in buffalo calves[J].Indian Journal of Animal Research,2017,doi:10.18805/ijar.B-3362.

[29] 许甲平,鲍宏云,冯一凡.蛋氨酸锌对产蛋鸡产蛋性能和非特异性免疫功能的影响[J].饲料工业,2012,33(20):58–61.

[30] WANG C,XIE P,LIU L L,et al.Use of lower level of capsulated zinc oxide as an alternative to pharmacological dose of zinc oxide for weaned piglets[J].Asian Journal of Animal and Veterinary Advances,2012,7(12):1290–1300.

Effects of Difference Zinc Sources on Growth Performance, Serum Hormone and Immune Indices of Newborn Calves

HAO Liyuan[1] MA Fengtao[1] WEI Jingya[1] SUN Peng[1] ZHANG Kaizhan[2]

（1. *State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*; 2. Beijing Sino Farm Co., Ltd., *Beijing* 100028, *China*）

Abstract： The objective of this trial was to investigate the effects of difference zinc sources on growth performance, serum hormone and immune indices of newborn calves. Thirty-six newborn Holstein dairy female calves were randomly assigned to 3 groups with 12 calves per group. Calves in control group were no addition, and others in experimental groups were added 457 mg zinc methionine and 104 mg zinc oxide (equivalent to 80 mg zinc) per calf every day, respectively. Zinc methionine and zinc oxide were mixed with milk and fed directly to the calves. The whole experiment lasted for 14 days. Starter diet was supplemented to all calves on the fourth day after birth. Incidents of diarrhea and feed intake of individual calf were recorded every day. Calves were measured for body height, body slant length, bust and weight at the beginning and the end of the trial. Meanwhile, blood samples were taken from all the calves at the end of the trial, and the contents of immunoglobulin and hormone in the serum were measured. The results showed as follows: 1) compared with the control group, dietary supplementation of zinc methionine significantly increased the average daily gain of calves ($P<0.05$), significantly decreased the diarrhea rate of calves ($P<0.05$). Different zinc sources did not influence the average daily feed intake, total body height gain, total body slant gain and total bust gain of calves ($P>0.05$). 2） Compared with the control group, dietary supplementation of zinc methionine and zinc oxide significantly decreased the serum insulin content of calves ($P<0.05$). 3) Compared with the control group, dietary supplementation of zinc oxide significantly increased the contents of immunoglobulin G and immunoglobulin M in serum of calves ($P<0.05$). And no significant difference was observed in serum immunoglobulin A content of calves among all groups ($P>0.05$). In summary, supplementation of zinc methionine to newborn calves effectively promotes calf growth, and reduces the diarrhea rate, while supplementation of zinc oxide helps to improve the

immune function of calves.

Key words: newborn calves; zinc methionine; zinc oxide; growth performance; diarrhea; serum hormone; immune function

*Corresponding author, associate professor, E-mail: sunpeng02@caas.cn　（责任编辑　武海龙）